

X線自由電子レーザー施設「SACLA」の省エネルギー冷却設備

Energy-saving cooling facilities of X-rays free-electron laser facilities "SACLA"

飛永隆史^{#,A)}、上西雅彦^{A)}、関口芳弘^{B)}
Tobinaga Takashi^{#,A)}, Uenishi Masahiko^{A)}, Sekiguchi Yoshihiro^{B)}
A) SPring-8 service Co.,Ltd.
1-20-5 Kohto, Shingucho, Tatsunoshi, Hyogo 679-5165
B) RIKEN
2-1, Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

Abstract

The X-ray free electron laser facility "SACLA" that RIKEN has opened to users from March 2012 is 700 meters long. It is smaller than the facility in operation in the United States (approximately 2 kilometers) and the one under construction in Germany (approximately 3.4 kilometers). Thanks to the small length of the facility, it was possible to reduce the construction cost and construction period. The air conditioning and cooling water systems were designed and constructed for high performance and energy efficiency, so it has contributed for a stable operation of SACLA. The "displacement air conditioning" system that is used in SACLA is more energy efficient than the conventional mixed air conditioning system. In this paper, we report on the current condition of the relationship between temperature and stability of the air conditioning and water cooling systems.

1. 概要と背景

SACLA の装置冷却水管は、全て裸管である。隣接する SPring-8 の装置冷却水配管も全て裸管である。理由は、

- 装置冷却水の温度が常温以上であり、結露を起こす恐れがない
 - 漏水を発見しやすい
 - 断熱材を施工する必要がなく、経済的である
- しかし、 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ の精度で搬送する必要がある SACLA の装置冷却水は、配管が長いほど周囲温度の影響を受けてしまうわけだが、SACLA の装置冷却水は非常に安定しており、周囲温度の影響を受けていない。

本稿では、SACLA で採用された、従来型の混合空調よりも省エネルギーであるディスプレイメント空調について、また、空調と装置冷却水の温度安定性との関係について現状を報告する。

2. ディスプレースメント空調とは

SACLA 加速器棟の装置冷却水管はクライストロンギャラリーの壁面上部に裸管（断熱材施工なし）で取り付けられている。従って、冷却水温度と室温に差があると熱交換により冷却水温度が変化する。また、SACLA では配管の振動を押さえるために配管内流速を 1.5m/s 以下にしているが、熱交換の時間が長くなるので温度変化を引き起こす。これは配管に断熱材を施工すれば解決するが、1 に述べたメリットがなくなる。SACLA では経済性、省エネ

性を設計コンセプトとし、技術的価値を持たせたものとして採用されたのがディスプレイメント（置き換え）空調である。

2.1 空調方式の特徴・性能

図 1 は、SACLA におけるディスプレイメント空調の概要である。

空調用多孔板壁吹出口により多量の空調空気を気流速度を小さくして吹き出す事により、吹出空気と室内空気とをあまり混合することなく、室内空気を吹き出し空気によって置き換えていく。

空調空気は床近傍を這うように室内に広がるため、居住域・作業領域のみを効率よく空調する事ができ、呼吸域における気流の乱れも少ない為、換気性能が高い。また、従来型の混合空調システムに比べて給気温度を高く設定出来るため、省エネ性にも優れている。

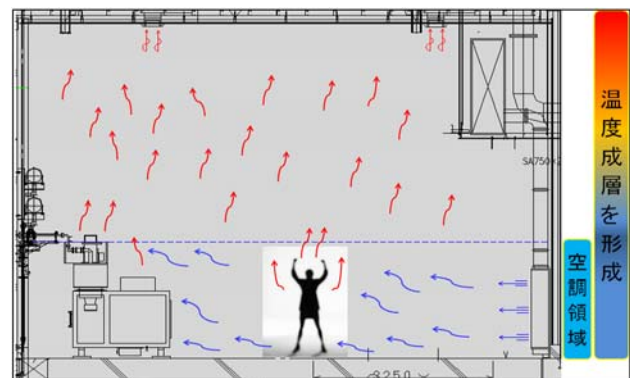


図 1：ディスプレイメント空調の概要

tobi@spring8.or.jp

図2は、従来型の混合空調の概要である。

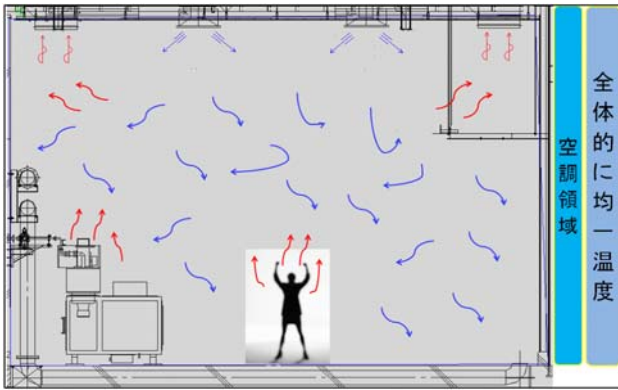


図2：従来型の混合空調の概要

従来型の混合空調システムでは、天井の給気口から低温の空調空気を速い風速で吹出し、その冷風が周囲の空気を巻き込み、混ざり合いながら下降して来る。一方居住域・作業付近では、機器等からの熱対流により空気の上昇が起こる。この混合された空気が部屋全体を満たし温度を均一化するものだ。

空調の定義は、「対象とする空間の空気の温度、湿度、清浄度、気流分布をその空間内で要求される値に合うように、同時に処理するプロセス」である。両方式の違いは対象とする空間が、床上約2m程度の空間か全体かで有る。

図3は、ディスプレイメント空調(DV-P)と混合空調(MIX)の空気線図である。①は、今年6月のクライストロンギャラリーの還気の平均、②は、給気の制御値、③は、同じ条件にて混合空調で行った場合の給気である。

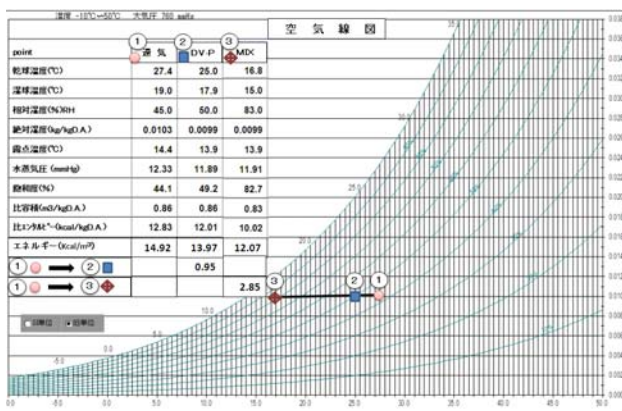


図3：ディスプレイメント空調(DV-P)と混合空調(MIX)の空気線図

クライストロンギャラリーの天井高さは約6mである。混合空調方式の空調領域は、ディスプレイメント空調方式の必要空調領域である2mの3倍必

要となる。即ち空調エネルギー(比エンタルピー/比容積)も3倍必要となる。図より①→②のエネルギー差は0.95kcal/m³であるので、①→③はその3倍の2.85kcal/m³が必要となる。

2.2 装置冷却水管の配置

図4は、クライストロンギャラリーの空気の流れである。



図4：クライストロンギャラリーの気流

吹出口①より25.0°C前後、風速1.0m/s以下で吹出された大量の空調空気はゆっくり拡散し②の付近で機器の発熱により温度が上がり空気の比重が軽くなり、周りの空気と置き換えながら上昇、③の冷却水管付近では冷却水温度とほぼ同じ26.6°Cの温度帯となり、④の還気口より空調機へ戻って行く。②と④の間に③の装置冷却水管が配置されているため、装置冷却水の温度変動が少なくなる。

3. 装置冷却水管の温度

図5は、装置冷却水管の表面温度をサーモグラフィで撮影したものである。

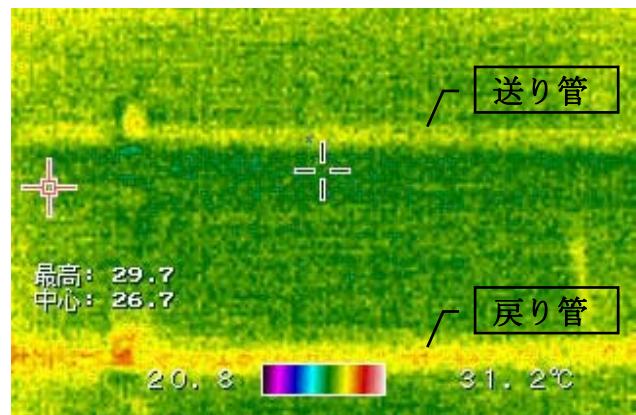


図5：装置冷却水管の表面温度

上部が装置への送り（供給）管、下部が戻り管である。上部の送り管表面温度は、26.7℃と冷却水温度とほぼ同じで有る。周囲温度も 27.0℃（緑色）付近で有り空調との温度差が少ない事が確認できた。下部の戻り管表面温度が 29.7℃（赤色）になっているが、送り管との距離は 550mm であり、送り管への直接的影響はないものと思われる。

4. クライストロンギャラリーの温度分布

図 6 は、クライストロンギャラリーの上下温度分布である。長さ 400 m のクライストロンギャラリーの空調は、仕切の無い L-1～L-5 の 5 系統に分かれており、独立した空調システムで運転されている。

縦軸は温度、横軸は床面からの高さである。装置冷却水の送り管は、3,400mm の高さに設置されており L-1～L-6（装置冷却水の L-6 は、空調の L-5 系統にある）全系統の配管周囲温度が 26.5℃～27.0℃の温度帯にある事が確認できた。

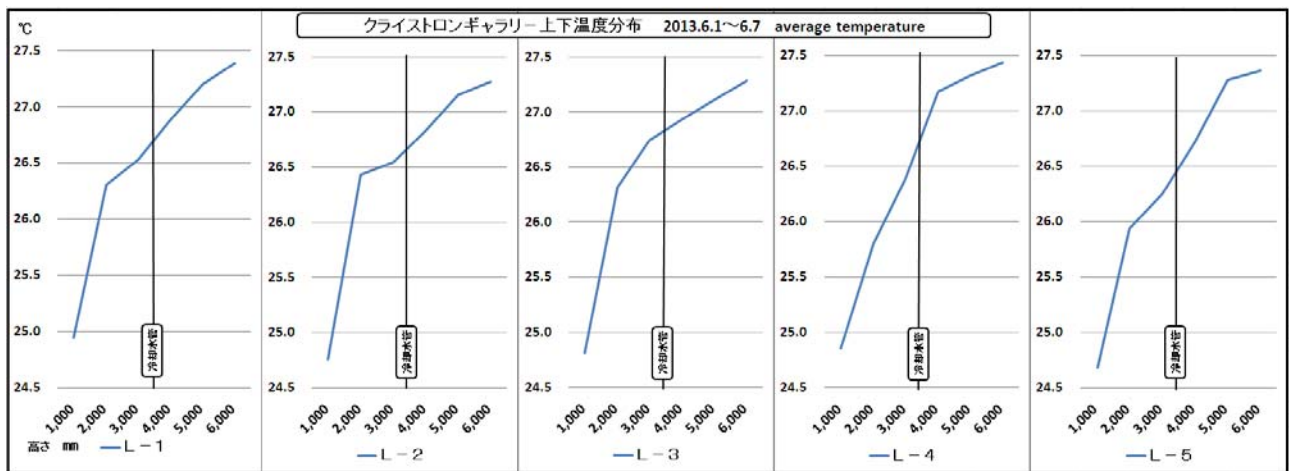


図 6：クライストロンギャラリー上下温度分布

5. 装置送りの冷却水温度

図 7 は、L-3 系冷却水供給温度と床面からの高さによる温度の時間変化である。図に示す通り、クライストロンギャラリーの温度は成層状となっており、同一高さにおける温度変動は小さい。

4,000mm の温度帯が冷却水供給温度とほぼ同一である事が確認できた。

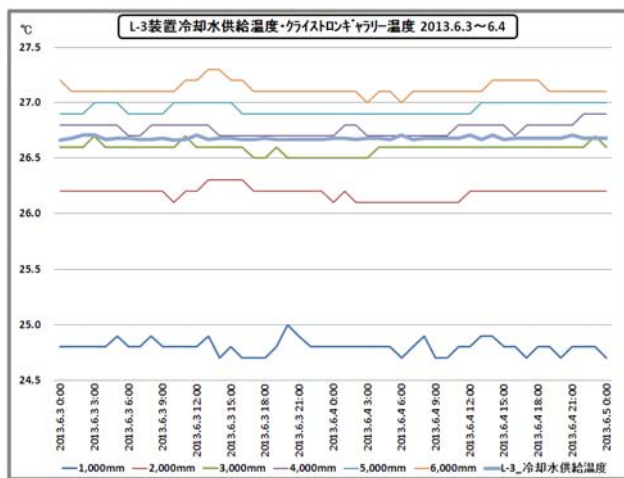


図 7：L-3 系冷却水供給温度と床面上下温度

装置冷却水の供給温度は、26.6～26.7℃（高さ 3,400mm）、おおよそ床面からの高さ 3,000mm～

6. 装置冷却水の負荷熱量

図 8 は、装置冷却水の負荷熱量である。

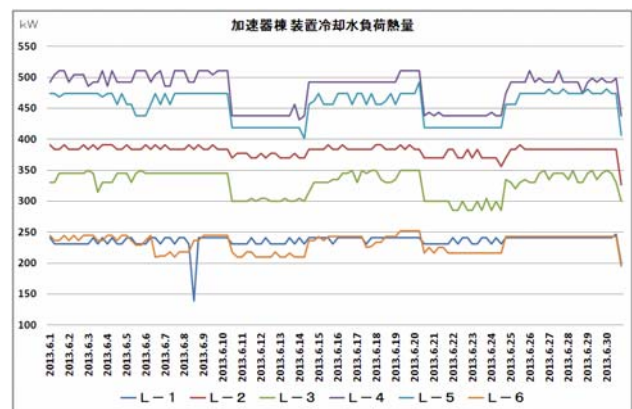


図 8：加速器棟装置冷却水負荷熱量

L-1～L-6 の平均熱量は 352kW、平均流量は 2,869L/min で有る。搬送途中で熱を吸収し温度が 0.1℃でも上昇すると、1 系統時間当たり 20kWh、6 系統合わせると 120kWh、約 5.7%の熱量が増加する

事になる。昨年の運転時間 7,016h で計算すると 841MWh にもなる。従って、今後も継続して調査を行い搬送時の温度変化を起こさないよう、空調温度と装置冷却水温度を制御する必要がある。すなわち、加速器運転上の必要により装置冷却水温度を変更した場合、それに合わせて空調温度を適正に変更することにより、エネルギーロスの抑制に努めたい。

7. おわりに

今回の調査により空調による装置冷却水温度の変化は見られず安定している事が確認出来た。今後も継続して調査を続け、データを蓄積し施設の効率的運転につなげたい。